

CONCLUSIONES

1. Conclusiones generales

Cuando nos enfrentamos con los acueductos romanos, unas obras de ingeniería diseñadas hace miles de años, es difícil obtener conclusiones definitivas que engloben por igual a todos ellos, aunque sean únicamente los diseñados para abastecer de agua potable a las ciudades de *Hispania*. La primera conclusión es precisamente que es difícil sacar conclusiones, al menos generales, de los acueductos romanos de *Hispania*. En casi todos los aspectos nos encontramos excepciones.

Nos hallamos con la dificultad de que si bien conocemos el procedimiento mecánico para realizar estas construcciones, por desgracia desconocemos todo lo referente al planteamiento y diseño de las obras.

Los escritos de Vitruvio, como ya se ha señalado, no dejan de ser una mera aproximación, aunque muy interesante a lo que se realizaba y se diseñaba en su tiempo. Por desgracia no hay constancia de que Vitruvio tuviese un papel relevante en la arquitectura de su época. El hecho de haber sido el único arquitecto clásico del que ha llegado hasta nosotros un volumen de obras apreciable, y haber sido "redescubierto" en la época del Renacimiento, ha hecho que en mi opinión se le dé una trascendencia a sus escritos y una "ortodoxia" mucho mayor de la que en realidad en su tiempo tuvieron.

La ausencia de algo parecido a una academia de ingeniería o arquitectura (curiosamente, ya desde los tiempos de la Grecia clásica, sí las había de filosofía) hacía que cada arquitecto aprendiera por su cuenta, suponemos que empezando como ayudante de otro ya consagrado a la labor.

Por otro lado, el dilatado período de tiempo que abarcan los acueductos que construyeron los romanos, lógicamente, hizo que las formas y los diseños de unos y otros fueran poco a poco cambiando con el tiempo.

Además, y pese a la relativa uniformidad cultural e idiomática que había en el Imperio, y la gran mejora en las comunicaciones que la red viaria romana supuso, no impidió que la transmisión de conocimientos fuese relativamente lenta. De hecho, es algo fácilmente comprobable cómo la tecnología y los conocimientos científicos viajan mucho más lentamente que las noticias y las mercancías.

La semejanza en las formas ha hecho que muchas veces se haya querido ver influencia en los estilos constructivos de unos acueductos en otros, a veces muy lejanos, olvidando en demasiados casos, las enormes diferencias formales de unos acueductos relativamente próximos, y de la misma época más o menos aceptada por todos. Lo cual no quita para que en algún caso, esa influencia, incluso de lugares muy lejanos entre si, se haya producido efectivamente.

Lo más probable, es que únicamente las normas “generales” se hayan trasladado de un lugar a otro, posiblemente con el avance de las legiones, o con los primeros ingenieros civiles.

Por lo demás, los métodos y sistemas locales tradicionales de construcción habrán prevalecido sobre todo lo demás, pues casi con toda seguridad, eran de origen local los arquitectos que diseñaron los acueductos cuyos restos podemos contemplar en la actualidad.

Los acueductos o conducciones de agua primitivos, es casi seguro que han desaparecido completamente. Por tanto únicamente en casos muy puntuales, puede hablarse de una influencia de los modos y gustos constructivos imperantes en una época determinada.

En este sentido, en mi opinión, la influencia de los acueductos de Roma se ha magnificado, pues si bien es innegable que debieron de algún modo marcar una pauta a seguir, en modo alguno su influjo directo llegaría de manera determinante mucho más allá de la propia península itálica, y desde luego no llegaría a ser en las provincias tan definitivo como se supone a veces. No es aventurado pensar que el arquitecto que diseñó el acueducto de Segovia, por ejemplo, jamás contempló los de Roma.

Por si todo esto fuese poco, la ausencia de placas o inscripciones conmemorativas en las obras, dificulta su localización en el tiempo, lo que supone que nos tengamos que mover en una continua e incómoda hipótesis.

En realidad, casi con seguridad, estas placas conmemorativas o inscripciones sí las hubo, pero han pasado demasiados siglos para que hayan llegado intactas hasta nosotros. Desde luego, donde sí estamos seguros que la hubo, en el acueducto de Segovia, las perforaciones que había en los anclajes de las letras, lo único que han acarreado ha sido una total disconformidad entre los especialistas con la interpretación de los mismos, como vimos en el capítulo dedicado a este acueducto.

Deberemos por tanto limitarnos a contemplar estas obras de un modo en cierta forma intemporal, para hacernos una idea de lo que representan en su conjunto, y formular suposiciones más o menos arriesgadas, para tratar de fecharlas.

Hemos visto como los ingenieros romanos se planteaban la ejecución de un acueducto como una sola unidad. Este proyecto, para analizarlo mejor, lo podemos subdividir en tres fases.

Estas fases son las siguientes:

1. La captación.
2. El planteamiento de la obra.
3. La realización de la misma.

• **La captación de agua**

Parece claro que los romanos tenían el criterio de coger el agua de donde la había, pero nunca de los ríos importantes.

En este sentido sí hay unanimidad. Ni el Guadalquivir, ni el Guadiana, ni el Ebro, ni el Henares suministraron agua para el consumo a las poblaciones por donde pasaban.

Este es sin duda el único aspecto en que parece haber uniformidad en todos los acueductos del imperio.

No cabe duda, que aparte de las recomendaciones de Vitruvio, este criterio estuviera asentado en los conocimientos que eran propios de los técnicos que se desplazaban con las legiones. No olvidemos que en ningún lugar fuera de la Grecia Clásica ha aparecido un acueducto digno de tal nombre, anterior a la llegada de las legiones de Roma.

Con estos técnicos militares llegó el concepto de acueducto, y de la captación de agua, aunque hay que tener presente que los campamentos militares más o menos permanentes, no estaban diseñados, como es lógico, para abastecerse de agua del exterior. Esto tal vez explique el hecho de que con el tiempo, los campamentos militares que se transformaron en ciudades de carácter civil, en ocasiones nunca contaran con un acueducto importante. Como son los casos de Astorga, Lugo, y el más paradigmático de todos ellos, León.

La captación de agua se realizaba, siempre que fuese posible, desde un manantial de agua corriente que estuviese a una cota suficiente como para llevar agua a la ciudad. En caso de no existir el manantial de agua en superficie, se hacía la captación de agua por medio de un túnel que recogiera el agua subterránea.

Lo asombroso es que parece que ese era el único requisito importante. Las dificultades del terreno parecían no importar.

El caso más evidente lo tenemos en el acueducto de Almuñécar, una población pesquera de importancia relativa, donde realizaron tres *arcuaciones*, un sifón, un túnel y otras obras menores para llevar el agua hasta la ciudad. Es por lo tanto, el acueducto más “completo” de los que han llegado hasta nosotros.

De no haber sido posible este tipo de captación, se hubiera procedido a la construcción de un embalse para almacenar el agua.

Parece claro que el almacenaje de agua en embalse era una solución última, pues en el caso referido de Almuñécar, podía haberse hecho el acueducto mucho más sencillo con la construcción de una presa que embalsara las aguas del llamado río Seco, pues a este cauce es adonde se trasvasan las aguas del río Verde, que abastecen la ciudad.

Este aparente poco entusiasmo por las presas puede ser debido a que los arquitectos romanos eran conscientes de sus propias limitaciones en la construcción de embalses, pues efectivamente, su técnica constructiva desde un punto de vista de la estática de fuerzas, estaba bien desarrollada para soportar compresiones, pero no tracciones. El caso de la presa de Toledo, arruinada posiblemente no mucho tiempo después de su construcción, debió sin duda influir en este poco entusiasmo.

Asimismo, también sabían de su incapacidad en la depuración de agua embalsada en superficie, condición indispensable en muchos casos, pues de lo contrario esta se hacía insalubre.

No obstante, hay notables excepciones, como la famosa presa de Proserpina en las cercanías de Mérida, todavía hoy en uso.

En general, la tecnología desarrollada para construir las presas refleja lo conscientes que eran de sus propias limitaciones.

Las presas, al menos las de una cierta entidad, las hacían en lugares próximos a las cabeceras de los ríos o arroyos, hasta el punto de que como ocurre en Mérida, en ocasiones debían de recurrir a largas canalizaciones para hacer converger otras fuentes de agua a la cuenca donde la presa se construía.

La cimentación de las mismas era en general inexistente, de manera que los refuerzos para impedir el vuelco de la pared de piedra era en muchas ocasiones un ancho espaldón de tierra compactada.

Esto hacía enormemente peligroso que rebosase la presa por la coronación, por lo que los aliviaderos de la misma se colocaban en los extremos del muro de piedra. Este espaldón de tierra tenía además el inconveniente que en determinadas circunstancias, con la presa bruscamente desembalsada, tendiera a volcar la misma hacia aguas arriba, como ocurrió en la presa de Alcantarilla, sobre el río Guajaraz, que abastecía de agua a Toledo. La presa "gemela" a esta, la de Proserpina en Mérida tiene unos pequeños refuerzos en la parte de aguas arriba, para prevenir esta circunstancia, pero son tan insuficientes ante el empuje del espaldón en condiciones adversas, que puede decirse que es un verdadero milagro que haya llegado hasta nosotros casi en perfectas condiciones después de tantos siglos.

Curiosamente, la presa romana de *Hispania* con un diseño más moderno y audaz para su tiempo, se construyó para almacenar agua de riego, sobre el río Aguasvivas, cerca de Almonacid de la Cuba. El hecho de que en la actualidad se halle totalmente atarquinada (parece ser que se colmató en poco tiempo), no quita para que su construcción sea una de las más notables que los ingenieros romanos realizaron en *Hispania*.

La otra gran presa romana, la de Cornalbo, en Mérida, ha llegado tan transformada hasta nosotros que no podemos estar completamente seguros de cómo era enteramente su factura romana.

• El planteamiento de la obra

En este aspecto, una cosa que puede decirse de los ingenieros romanos es que no le tenían miedo a nada. Si contemplamos sus obras sentimos que para ellos no había nada imposible.

Solo así se comprende que se atrevieran (ciñéndonos únicamente a las obras hechas en *Hispania*) con trasvases como los de Albarracín, o con sifones como el de Cádiz, que sin llegar a la espectacularidad que llegaron a tener los que abastecían *Lugdunum*, desde el punto de vista del diseño, son obras sumamente arriesgadas en su planteamiento.

La topografía, basada en las matemáticas, era una ciencia lo bastante desarrollada desde muchos siglos antes, pese a tener que hacerse con instrumentos primitivos. Hay varios ejemplos de precisión, absolutamente increíbles, como el ya mencionado acueducto de Albarracín a Cella, o el que abastecía la localidad de Almuñécar.

Esta ciencia, enormemente utilitaria, pudo aplicarse de manera efectiva para conseguir mantener unas pendientes necesarias y suficientes para llevar el agua desde las fuentes hasta la ciudad.

Sin embargo, estas pendientes, en general no eran uniformes, y aquí es donde ya podemos hacer diversas especulaciones.

Generalmente, cuando se han conservado los restos más o menos completos del acueducto, es decir, cuando podemos saber con poco margen de error por donde discurría, suelen presentarse tres invariantes:

1. El primer tramo, el más cercano a la captación, suele tener una pendiente muy pequeña, menor que el resto.
El motivo podría ser el asegurarse durante todo el recorrido que el caudal no sobrepasara una cierta profundidad, pues una cosa que sin duda los ingenieros hidráulicos conocían perfectamente, es que en un caudal uniforme, el calado de la corriente de agua es inversamente proporcional a la pendiente de la misma.
2. En el tramo intermedio la pendiente aumenta, en algunos casos de forma notable (Caso de los acueductos de Segovia o Calahorra)
Estos grandes cambios de pendiente, no son en general demasiados largos, por lo que pueden muy bien ser debidos a una cierta aplicación industrial del acueducto. (Como parece ser en el caso al menos de Segovia)

En este sentido pueden plantearse dudas, principalmente porque si bien un molino no consume agua, ni teóricamente la contamina, lo cierto es que en gran parte de los acueductos conservados se puso un cuidado exquisito en que el agua no se alterase con ningún elemento ajeno a la conducción. Por lo tanto estos elementos pueden haber sido añadidos con posterioridad de dos maneras:

- ✓ Variando localmente la pendiente para conseguir la diferencia de cotas deseadas.
- ✓ Aprovechando una zona de elevada pendiente para proceder a la instalación de la obra.

Lamentablemente, el tiempo transcurrido desde que se construyeron estas obras hasta hoy ha sido demasiado, y los avatares de todo tipo por los que han pasado, muy numerosos, por lo que nos es realmente difícil saber exactamente cual ha sido con exactitud el origen o la causa de algunas de estas "anomalías".

3. En el tramo final, cerca de la entrada de la ciudad, la pendiente vuelve a ser pequeña. En algún caso, como en Segovia, esta pendiente es la menor de todo el acueducto.

La explicación de esta pendiente mínima parece claro que obedece a dos motivos principales:

- ✓ Favorecer la acción de los elementos decantadores al circular el agua más lentamente, depositándose los elementos en suspensión en el fondo del canal.
- ✓ Cuando las ciudades estaban situadas en lugares elevados, como Segovia o Calahorra, se hacía indispensable el levantamiento de un canal elevado sobre pilares. La erección de una obra de este tipo siempre presentaba problemas, por lo que era evidente el empeño de los arquitectos de que la altura de estos elementos fuese lo menor posible, teniendo por lo tanto la pendiente mínima para que circulase por ellos el agua.

En cuanto a la idoneidad o no de hacer en un punto determinado un puente elevado por donde circulara el agua, es interesante la tesis de Fernando Sáenz Ridruejo, sobre la conveniencia de un acueducto elevado frente a la canalización a nivel. Concretamente se hace el estudio para el caso del acueducto de Tarragona. El problema que plantea Sáenz Ridruejo en realidad no es de fácil solución, pues la fórmula empírica que presenta debería estar debidamente contrastada con otros acueductos, por no hablar de los valores numéricos que otorga a la forma del valle.

En general, salvo que el rodeo a dar fuera enorme, siempre se prefería la conducción a nivel pues, generalmente, esta resultaba mucho más económica de trazar y construir, por no hablar de un mucho más sencillo mantenimiento. Por otro lado, por ir generalmente enterrada, quedaba a salvo de eventuales problemas de riadas y otros desastres naturales a los que los puentes estaban indefectiblemente expuestos.

- **El diseño: Los canales**

El diseño de los canales es sencillo. Generalmente tienen más altura que anchura, pero eso se comprende fácilmente si tenemos en cuenta que el canal iba cubierto, por lo que siempre resultaba más sencillo cubrir una distancia pequeña, con bóveda o una simple cubierta de losas planas, que una mayor.

Los ángulos inferiores del canal solían llevar un refuerzo en cuarto bocel para reforzar la impermeabilización. Este hecho es tan general, que, aunque aparentemente lo dicta el sentido común, casi con seguridad, fue una de las “recetas” que trajeron consigo los ingenieros que acompañaban a las legiones.

- **El diseño: Los sifones**

Un caso aparte en el diseño de la obra es la necesidad de realizar sifones.

De la misma manera que en las presas, parece evidente que los romanos se dieron cuenta de sus limitaciones en la construcción y diseño de los sifones para la conducción del agua.

Aunque el principio teórico lo conocían perfectamente. (Torres de descarga, refuerzos en los acodamientos, etc.), una cosa muy distinta era la construcción de un sifón que llevara de forma segura grandes cantidades de agua a una población. Por ello, siempre (o casi siempre) que pudieron, evitaron la construcción de sifones.

- **El diseño: Las *arcuationes***

La forma de los arcos que soportaban los canales elevados es uno de los aspectos más fascinantes de los acueductos de Hispania.

La forma del arco es el de medio punto, semicircular, aunque no siempre son arcos completos, sino sólo aparentemente. Es este el caso de Los Milagros, en Mérida, el de *Italica*, y el de *Baelo Claudia*, donde los arcos son enjarjados.

La excepción, entre los acueductos estudiados, la constituye el acueducto de Los Bañales, donde no se empleaban arcos para soportar el canal, pues este era de madera.

Lo que resulta más intrigante es la manera de plantear la fila superior de las dobles arcadas, es decir, la proporción que guardaban la elevación de los pilares que soportaban los arcos, con la luz de los mismos, cuando estas dobles arcadas debido a la altura requerida por el acueducto eran necesarias.

Han llegado hasta nosotros 6 construcciones de este tipo. En Tarragona, Segovia, dos en Almuñécar y dos en Mérida. En cinco de estos las formas son idénticas. La excepción la constituye uno de los acueductos de Mérida, el de San Lázaro, en el que la relación entre la altura de los pilares y la luz de los arcos, tiene forma de rectángulo áureo. En los demás la forma es un cuadrado. Este hecho no pasó desapercibido para D. Carlos Fernández Casado en su estudio sobre los acueductos de *Hispania*.

La proporción de acueductos con esta relación de identidad entre las alturas de los pilares de los arcos y la luz de los mismos es demasiado elevada (en porcentaje, supone un 83,3%) para ser casual, por lo que no es arriesgado suponer que había, por así decirlo, una "norma común". Ahora bien, ¿cómo se impuso y porqué?

Por una parte, podría pensarse que igual que el revestimiento de *opus signinum* pudo venir de la mano de las legiones y sus ingenieros, también éstos influyeron en las proporciones de las filas de arcos superiores de las *arcuationes*. Pero si esto fue así, tal procedimiento constructivo debería estar generalizado en todo el imperio, por lo que no sería un invariante dentro de los acueductos españoles, como lo califica Carlos Fernández Casado.

La pregunta que cabe plantarse es por tanto: ¿cómo entonces se generalizó su uso en *Hispania*?

Una posibilidad puede ser algo más trascendente que el mero gusto estético.

Los ingenieros de los tiempos de Roma no hacían la separación actual entre religión y técnica. Sabemos que la figura del augur, quien interpretaba el vuelo de los pájaros, u otros indicios, era muy importante, no sólo para la faceta religiosa del mundo romano, sino también para la vida cotidiana de todos los estamentos sociales. Se consultaban augurios para emprender campañas militares, fundar ciudades, etc. en definitiva para casi todo, de manera que la magia, la religión, y muchos aspectos de la ciencia, eran diversas caras del mismo tema.

Tal vez en Hispania las costumbres, o ritos locales, generalizaran este tipo de proporción. Por otro lado, el hecho de que el oficio se aprendiera por "experiencia compartida", hacía que los modos constructivos se mantuvieran mucho en el tiempo, por lo que no es de extrañar que la proporción "Cuadrado- semicírculo" se perpetuara en el tiempo.

Sin embargo, otra posibilidad, y creo que suficientemente fundada, es que los ingenieros romanos daban esa forma a los arcos, simplemente, porque estaban muy acostumbrados a ella. Sencillamente porque les resultaba muy familiar.

Con una plantilla, de cuadrado- semicírculo, como ya se indicó en el capítulo dedicado a la geometría, los ingenieros podían resolver multitud de problemas de construcciones geométricas, además de servir de ayuda en algunos cálculos matemáticos. Por lo tanto, nada tiene de particular que recurrieran a una forma con la que estaban sumamente familiarizados, y que por otra parte resulta extremadamente fácil de construir.

Es la misma razón por la que en el diseño actual aparece con mucha frecuencia un tamaño rectangular proporcional a los formatos de papel de la serie A, universalmente utilizados hoy día.

Además, como hemos visto en el capítulo dedicado a la geometría, esta forma está también implícita, aunque no manifiesta, en el acueducto de "San Lázaro", el único que no presenta en los arcos superiores la característica forma "cuadrado - semicírculo".

También es posible que la referida forma tuviera algún aspecto "mágico" desconocido para nosotros. Y además, como se ha indicado, el hecho de que el oficio de arquitecto se transmitiera por aprendizaje directo "a pié de obra", hacía que las formas se anquilosaran evolucionando muy lentamente.

Tendrían que venir tiempos tardíos, para que algún arquitecto se atreviera a hacer el acueducto de S. Lázaro con unas formas diferentes. Tal vez fuese este el último de los grandes acueductos que se hicieron en *Hispania*.

• La realización: Los canales

Parece claro que los canales de agua impermeabilizados con *opus signinum* están tan generalizados que no puede ser debido a una casualidad, o a una coincidencia que estén todos así. Es por tanto factible pensar que los arquitectos que venían con las legiones, desde los primeros tiempos traían el bagaje cultural de conocimientos básicos de impermeabilización, de manera que estos se implantaron por defecto en toda obra que estuviese en contacto con el agua.

Donde ya no hay uniformidad alguna es en el tratamiento formal que se hace de la cubrición del canal. En unos casos estos se cubren con losas planas (casos de Segovia y Calahorra), en otros se coloca una cubrición abovedada de lajas de piedra embebidas en hormigón (casos de Mérida y Tarragona), y en otros incluso se coloca una piedra curva, de manera que asemeje a una cubierta abovedada (*Baelo Claudia*), etc. Es por tanto este, el aspecto menos "técnico" de la obra donde aparecen las divergencias de unos acueductos con otros, es decir, donde las peculiaridades constructivas locales o personales se hacen más evidentes.

Podemos decir pues que los canales por donde discurría el agua mantenían una total falta de uniformidad de unos con otros. Incluso, dentro del mismo acueducto, nos encontramos con diversos tramos que tienen confecciones muy diferentes, (Caso, por ejemplo de Calahorra) lo cual es prueba de que no había una forma "absoluta" de construir un canal. Es posible que en algún caso estas diferencias sean debidas a reparaciones que se realizaron en diferentes momentos muy separados en el tiempo, pero esa explicación, tampoco se ajusta en todos los casos, si tenemos en cuenta, por ejemplo el caso de *Italica*, donde sabemos que el acueducto nuevo se realizó en ladrillo todo al mismo tiempo, y sin embargo podemos apreciar diferencias en la confección, cocción y tamaños de los diferentes ladrillos, en función de las cuadrillas de trabajadores que los colocaron.

No obstante, es de señalar, que la mayor parte de los acueductos transcurría bajo tierra, por lo que el diseño de estos túneles era el habitual de bóveda de medio punto.

En cuanto a esta, se hacía impermeable en todo el recorrido, salvo cuando se trataba de captar el agua en zonas subterráneas, como los inicios de los acueductos de Cornalbo (Mérida) y Almuñécar. En estos casos, las bóvedas, se colocaban simplemente mampuestas, de manera que el agua se filtraba al interior del canal. Una vez pasada esta zona, las bóvedas se impermeabilizaban.

Los materiales utilizados, eran, igual que los empleados para las paredes del canal, los de la zona.

Un caso peculiar lo constituye el acueducto de Los Bañales, con el canal de madera, aunque este acueducto no era de abastecimiento, por lo que de un modo riguroso, no puede considerarse como una excepción.

Generalmente, cuando había que enterrar el canal se cavaba una zanja, se construía la bóveda y luego se cubría con tierra.

La profundidad de estas zanjas varían de unos acueductos a otros, pero podemos considerar como límite máximo los 10 metros, como ocurre en el acueducto de Córdoba. Para profundidades mayores se recurría a la excavación en túnel. Evidentemente, el caso de Chelva (una zanja con una profundidad de 25 m) puede considerarse de todo punto excepcional. Tal vez el carácter industrial de este acueducto justificó la no cubrición del mismo. Parece indudable que por algún motivo les resultó más rentable realizar el tajo en la montaña antes que realizar un túnel.

• **La realización: Los sifones**

Varios fueron principalmente los problemas a los que se tuvieron que enfrentar, y que no fueron completamente capaces de resolver.

- ✓ El primero, con las cañerías de plomo, fue el de la estanqueidad para las altas presiones a las que las tuberías de los sifones estaban sometidas, pues lógicamente, siempre resultaba más económica una obra elevada.
Esta falta de control en la estanqueidad es la que hacía que fuese casi imposible la limpieza de las posibles obstrucciones que las tuberías pudiesen tener
- ✓ El segundo, y parcialmente relacionado con el anterior, es el de la estanqueidad en las conducciones cerámicas.
Las tuberías de plomo eran resistentes y su unión, al hacerse por soldadura, era altamente efectiva, sin embargo eran caras. Las tuberías cerámicas, por el contrario eran también resistentes a las presiones, y además baratas, pero tenían el inconveniente de las uniones de unas secciones con otras, problema que nunca llegaron a resolver de un modo seguro, por lo que su uso fue muy limitado, generalmente en sifones que no tenían una gran presión hidráulica

- ✓ El tercer problema, y en este punto nos se les puede reprochar falta de técnica a los ingenieros romanos, es el desconocimiento que tenían de los materiales necesarios para construir tuberías del suficiente diámetro de tal manera que las concreciones calcáreas no las bloqueasen en un tiempo relativamente breve. Cuando una tubería de sifón se atascaba, para repararla había que desmontarla por completo, puesto que no había manera de saber en qué punto se había producido la obturación, lo que acarreaba un coste enorme en material y sobre todo en mano de obra. (Es de suponer que el personal experto en el manejo de tuberías de alta presión, no abundase)
- ✓ El cuarto problema procedía de su imposibilidad tecnológica de evacuar el aire que se introducía en los sifones. Esta particularidad, que actualmente se resuelve con válvulas de ventosa por las que se elimina el aire a alta presión del interior, era imposible de realizar en la antigüedad, simplemente por desconocimiento de los materiales necesarios y las técnicas de fabricación y construcción.
Se ha especulado mucho con el término "*colliviaria*" mencionado por Vitruvio, por si representaría un sistema de válvula de evacuación de aire. Sin embargo, por la descripción que da, y el lugar en donde dice que debe colocarse, como ya se explicó en el capítulo dedicado a la forma de construcción de un acueducto, no parece probable que así sea.

En general, en los acueductos españoles que estuvieron dotados de sifón, se cumple la norma de que únicamente se recurría a él cuando la altura a salvar era demasiado elevada. Sin embargo también en esto hay excepciones.

Parece ser que en el acueducto que abastecía la parte inferior de la localidad de Segóbriga, se recurrió en una parte de la obra al empleo de sifones con tubería de plomo, cuando en realidad se podía haber hecho en esos tramos una relativamente sencilla construcción elevada, o bien con tuberías cerámicas, en principio mucho más baratas que el plomo. No obstante, como ya se explicó en el capítulo correspondiente, esta presencia del plomo en el sifón de Segóbriga tal vez sea debida precisamente al tipo de comercio que enriqueció a la ciudad. La exportación de *Lapis specularis* a Roma, es decir, un transporte especializado en cargas pesadas, que podía hacer el tornaviaje desde los puertos de la costa donde se embarcaba, cargado con lingotes de plomo, por lo que este material ya no sería tan oneroso.

En cuanto a los materiales empleados en la fabricación de los sifones, no tenemos demasiados elementos de juicio para confirmar ni desmentir la tesis de Trevor Hodge en la que manifiesta que los

grandes sifones empleaban tubería de plomo, mientras que los más pequeños las usaban de cerámica, si consideramos el sifón de Segóbriga como excepción.

Del plomo del sifón que sin duda hubo en Toledo no queda ni rastro, tampoco de los arcos del *venter* que cruzaban el Tajo, pudiendo este sifón sin duda ser incluido en el grupo de los “grandes.” (La verdad es que en Lyon tampoco quedan restos de plomo, pero el hecho de que la colina donde se asienta la arqueta de cabecera de uno de ellos sea conocida como “La Plombière” es bastante elocuente del material empleado).

Del sifón de Zaragoza tampoco quedan restos actualmente, aunque están perfectamente documentados.

Es sifón que abastecía la ciudad de *Andelos* parece ser que también era de plomo, aunque el diámetro de la tubería era pequeño, de apenas 10 cm de diámetro, casi el tamaño de una tubería de canalización interior. Su pequeño tamaño se explica en este caso por su escasa longitud. La cantidad de plomo empleado no fue demasiado grande para resultar demasiado cara.

En el resto de sifones de los que hay constancia, los materiales usados son cerámicos, salvo el de Cádiz, que tenía los diversos tramos formados por bloques perforados de piedra. Este es un caso único de entre los de *Hispania*.

• **La realización: Las *arcuationes***

Las técnicas empleadas en el levantamiento de las grandes *arcuationes* no parecen haber diferido de manera significativa de otro tipo de construcciones.

No puede decirse que haya habido una técnica uniforme, por la simple razón de que los materiales empleados tampoco lo fueron, e incluso, donde coinciden éstos (caso de Tarragona y Segovia), las formas de elevar los bloques son diferentes.

Este hecho abunda en el sentido de que las influencias formales o de otro tipo de unos acueductos en otros no pueden considerarse como algo cierto.

Lo que sí puede darse como norma general en las *arcuationes* de los acueductos españoles es el hecho de estar construidas con los materiales de la zona, al menos en los casos que han llegado hasta nosotros, (desconocemos por completo de qué materiales estaban hechos los arcos del acueducto de Calahorra, Andelos, etc.)

Un aspecto que se ha querido interpretar en los arcos de los acueductos, es un interés de los arquitectos en realizar una obra "impresionante", es decir, hacer ver a los habitantes del lugar el poderío del imperio, o la pujanza económica de la ciudad que los construyó.

Opino que este postulado es totalmente erróneo en la mayor parte de los casos, debido a que los ingenieros que planificaron estas obras, buscaron casi siempre la efectividad por encima de otra circunstancia. El hecho de que acueductos como el de Segovia nos resulten impresionantes a nosotros, no quiere decir que los responsables de su construcción buscaran el objetivo de impresionar, sino más bien, ese efecto es una consecuencia de la necesidad de realizar una obra de esas características. Los ejemplos son numerosos:

- ✓ Los arcos del acueducto de Tarragona, aunque formalmente cuidados, están levantados en medio del campo, en un barranco totalmente de espaldas a la ciudad, de manera que evidentemente, no estaban hechos para ser contemplados.
- ✓ Los arcos del acueducto de Segovia, sí se veían necesariamente desde la ciudad, pero tienen una factura demasiado tosca, aunque nos resulten impresionantes. No se pretendió en ningún momento la uniformidad formal, no hubo una planificación de las formas de los bloques de piedra que los componían, sino que estos se iban tallando a pié de obra, buscando únicamente la efectividad estructural, dejando evidentemente de lado cualquier pretensión estética.
- ✓ En ciudades como Córdoba, capital de provincia, el acueducto se enterró completamente, pudiendo hacerse una elegantísima fila de arcos que accedieran a la ciudad desde el pié de la sierra, y sin embargo, una vez más se optó por la efectividad.
- ✓ En Itálica, en medio de una fiebre constructora "exquisita", se rehizo y amplió con un ramal nuevo el acueducto que ya existía, sin embargo, se realizó enteramente en humilde ladrillo.
- ✓ Asimismo, en otras localidades como Almuñécar, los arcos del acueducto se hacían con lajas de pizarra del lugar, sin ninguna pretensión estética.

Por tanto, no puede decirse que hubiese un empeño en los que levantaron los arcos de los acueductos en impresionar a nadie, si consideramos además el hecho de que siempre que pudieron, hicieron el acueducto subterráneo, sin arcos, como el de Cornalbo en Mérida, o el ya referido de Córdoba.

No obstante, y como siempre, nos encontramos con excepciones.

En este caso, las excepciones son las partes elevadas de los acueductos de "Los Milagros" y San Lázaro, en Mérida.

Los arcos de estos dos acueductos, sí puede decirse que fueron levantados con la intención de impresionar a quien los contemplase. Los arcos del acueducto de "Los Milagros" pudieron haberse suprimido llevando el canal hasta el lugar que ocupaban los de San Lázaro. No obstante, se optó por levantar una obra impresionante, en piedra y ladrillo, situada en paralelo a la principal vía de entrada y salida de la ciudad, y con unos contrafuertes deliberadamente exagerados e inútiles desde el punto de vista estructural (muchos de ellos han desaparecido, y los pilares aún permanecen en pie).

Un caso similar es el cercano acueducto de S. Lázaro, con los arcos levantados también en piedra y ladrillo, al estilo de los de "Los Milagros", pero aún más esbeltos, y con unas formas, en la sillería, mucho más cuidadas.

Finalmente, cabe señalar el hecho de que casi en ningún acueducto de cierta entidad se realizaron los arcos con revestimiento de ladrillo. La excepción de rigor la constituyen algunos arcos del acueducto de Itálica. Según señala Lourdes Roldán, que aunque referido a la Bética, se puede hacer extensivo al resto de Hispania, solamente en Itálica se realizaron muros de ladrillo al estilo romano. En el resto, aparece combinado con otros materiales. Los ladrillos los encontramos como revestimiento de algún canal (Itálica, León), pero no formando parte de los arcos. Si tenemos en cuenta que en la Urbe, desde Nerón ya se empleaba el ladrillo en estas obras, vemos que la influencia en los modos y las formas de unas provincias a otras era muy tenue.

2. Los acueductos y su influencia en la vida urbana

Una de las conclusiones más determinantes que se pueden obtener del estudio conjunto de los acueductos romanos, es la influencia que estos tuvieron en la vida de algunas ciudades, y la importancia que para la historia de las mismas supusieron. En algún caso, como en el de Segovia, puede decirse que este acueducto resultó fundamental.

Si comparamos el caso de Segovia con el de *Tiermes*, por ejemplo, podemos ver lo diferente que llegó a ser la evolución histórica de estas dos ciudades.

En ambos casos, una pequeña población prerromana se suministraba penosamente con el agua que corría por sus proximidades. La ocupación romana, en ambos casos igualmente, solventó el problema con un acueducto, de manera que ambas poblaciones prosperaron.

La diferencia aconteció con el fin del imperio. En el caso de *Tiermes*, el acueducto se arruinó, y con él la posibilidad de un suministro fácil de agua. Este hecho condenó irremisiblemente a la ciudad, por lo que en un plazo más o menos largo, acabó siendo abandonada en favor de otros poblamientos con el suministro de agua más cómodo.

En el caso segoviano, el acueducto continuó en servicio, por lo que la ciudad no se despobló.

Es evidente, que fue por lo tanto, el conservar en uso el acueducto lo que mantuvo con vida la ciudad de Segovia, y ha hecho que en la actualidad no sea un despoblado yermo como *Tiermes* o *Clunia*.

En otros lugares como Córdoba la pérdida del acueducto no supuso un trauma demasiado grande, pues además de estar situada junto a un gran río, se pudo mantener fácilmente la provisión de agua mediante pozos, pero casos como este los podemos considerar excepcionales. Lo normal es que el acueducto romano facilitara un "estilo de vida" que se vería gravemente afectado con su pérdida. Puede decirse que las ciudades romanas, que continuaron con cierta pujanza al fin del imperio, cuando los acueductos o el sistema romano de suministro de agua se arruinó, lo hicieron porque o bien nunca tuvieron un acueducto, (por que no lo necesitaron) como León o Alcalá de Henares, o estaban situadas cerca de un río importante, como el caso de Toledo, Córdoba o Zaragoza.

3. Partes originales del presente trabajo

En el presente trabajo he tratado de sacar conclusiones basadas en los estudios de campo que otros especialistas han hecho.

La amplitud del tema obliga que mis aportaciones tengan un carácter muy diverso, por lo que las especificaré por capítulos en las que se ubican.

- **Las presas romanas**

En este capítulo he obtenido, basándome en cálculos de simple equilibrio de fuerzas, el porqué los ingenieros romanos hicieron los muros de las presas con los tamaños que efectivamente tienen. Los casos que se salen de unas ciertas dimensiones mínimas, están debidamente justificados.

- **Los materiales**

En este capítulo, he tratado de justificar, a la luz de los conocimientos actuales sobre el comportamiento de los materiales de construcción, el porqué de las recomendaciones que da Vitruvio en sus escritos sobre los materiales de construcción: las arenas, las cales, etc. y el uso que los romanos dieron a estos materiales

- **La geometría**

He creído encontrar una explicación plausible de la causa por la que la forma de los arcos superiores en los acueductos españoles que tienen dos filas de arcos, es un cuadrado con un semicírculo cerrándolo por la parte superior.

- **Los acueductos de la ciudad de Roma**

He hallado el valor en litros por día que los ingenieros romanos atribuían a la Quinaria como unidad de caudal. Asimismo, he calculado partiendo de la cifra comúnmente estimada de la población de Roma en tiempos del apogeo del Imperio, la cantidad de agua por habitante que abastecían las fuentes públicas de la Urbe.

- **Los acueductos de *Hispania*.**

He realizado siempre que he tenido los elementos suficientes, el cálculo del caudal que llegaba a las diferentes ciudades estudiadas que disponían de acueducto. Estas ciudades son:

- ✓ Almuñécar
- ✓ Cádiz
- ✓ Calahorra
- ✓ Córdoba
- ✓ *Italica*
- ✓ Mérida
- ✓ *Segóbriga*
- ✓ Segovia
- ✓ Tarragona
- ✓ *Tiermes*
- ✓ Toledo
- ✓ Zaragoza

Los acueductos en los que su estudio no lleva incluido el cálculo del caudal, se debe a que faltan algunos de los datos necesarios para ser aplicados en las fórmulas.

Asimismo, y basándome en la cantidad de agua *per capita* proporcionada por las fuentes públicas de Roma, y los caudales previamente calculados, he hecho una estimación del número de habitantes que había (o que podía haber) en las respectivas ciudades. Soy consciente que este número de habitantes no puede considerarse como una cifra definitiva, sino tan solo, como un máximo, Sin embargo, puede ser un complemento de las cifras calculadas por otros procedimientos.

- **Otras aportaciones personales**

- ✓ En el caso de los acueductos de Mérida, he propuesto una cronología (creo que justificada) de los diferentes acueductos y sus partes)
- ✓ En el acueducto de *Andelos* he interpretado los datos topográficos disponibles sobre el mismo y los restos del depósito hallado, descartando que este depósito fuese el *castellum aquae* del acueducto, sino una cisterna.
- ✓ En el acueducto de Albarracín a Cella, hago una justificación del mismo, basándome en la capacidad de servir como fuente de energía para una cantidad suficiente de molinos harineros que abastecieran a un número de personas del tamaño de una legión romana asentada en las proximidades de la actual población de Cella.
- ✓ En el acueducto de Los Bañales propongo un diseño de la estructura de madera basándome en los restos actuales, más sencilla y más efectiva que la propuesta por G. M. Leather.
- ✓ En el acueducto de Córdoba planteo y justifico una cronología diferente de los distintos tramos a la indicada por A. Ventura Villanueva.
- ✓ En el acueducto de Segovia, propongo un uso diferente al mero de depósito decantador, de la segunda torre de agua, (la que está ubicada sobre la zona elevada).
- ✓ En el acueducto de Tarragona, demuestro que las piedras de los arcos se tallaron *in situ*, y no de forma idéntica unos arcos y otros, igualmente a lo que se hizo en Segovia, aunque de forma menos evidente,
- ✓ En el acueducto de Toledo, he calculado el diámetro que tenían los tubos de plomo que formaban el sifón que abastecía la ciudad.
- ✓ En el acueducto de *Segobriga*, he calculado también el tamaño y la forma de los bloques de madera que sirvieron de moldes para el hormigonado del canal del acueducto y los pozos de decantación.

- ✓ En el acueducto de Osma, he creído encontrar una explicación de la forma tan extraña que tiene el perfil del túnel que atraviesa un cerro, poco después del *Caput aquae*.
- ✓ Asimismo he justificado el porqué ciertas ciudades romanas como Astorga o León no tenían acueducto.
- ✓ En el acueducto de Valencia de Alcántara, he razonado una solución novedosa, referente a la conformación de los pilares que estaban directamente sobre el arroyo del Peje.

4. Sugerencias y futuros desarrollos

Fundamentalmente, creo que el presente estudio tiene una continuación natural encaminada hacia el trabajo de campo. Esto es así ya que durante la confección de la presente tesis, no me ha sido posible desarrollarlo. Es por ello que me he basado en gran parte en mediciones y datos obtenidos por otras personas.

Hay algunos casos, como por ejemplo los acueductos de Osma, *Tiermes*, *Andelos*, etc. en que quedan muchas cosas por hacer y por investigar, ya que lo que conocemos no hace más que plantearnos interrogantes que no tenemos manera de responder si no es con un buen trabajo sobre el terreno.

Otro campo interesante que aquí no está presente, es el de los acueductos de tipo industrial que los romanos realizaron. Se ha hecho un estudio de un caso concreto (o dos si consideramos como industrial el acueducto de Los Bañales), pero los romanos hicieron innumerables acueductos para explotación industrial. Tal vez un estudio sistemático de éstos nos lleve a alguna conclusión interesante.

Finalmente, desde el punto de vista de la estructura lógica, la continuación del presente trabajo es la distribución del agua intramuros de las ciudades. Este es un tema muy interesante que sin embargo presenta la enorme dificultad de que, salvo casos excepcionales, resulta sumamente complicado averiguar cual es la distribución romana del agua en ciudades con casi dos mil años de ocupación ininterrumpida, como ocurre en muchas de *Hispania*. Y más si tenemos en cuenta, como hemos visto con los acueductos, que los romanos, no se planteaban las soluciones a los problemas siguiendo un método general, sino que con las herramientas de que disponían, aplicaban soluciones distintas para cada caso, en función de las dificultades que se encontraban.